

Original document

## SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DIODE

Patent number: JP2002237617  
Publication date: 2002-08-23  
Inventor: ISHIKAWA MASAYUKI; SUGAWARA HIDETO; HATAGOSHI GENICHI; NISHIKAWA YUKIE; SUZUKI MARIKO; ITAYA KAZUHIKO  
Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO  
Classification:  
- international: **H01L21/308; H01L33/00; H01L21/02; H01L33/00**; (IPC1-7): H01L33/00; H01L21/308  
- european:  
Application number: JP20020019064 20020128  
Priority number(s): JP20020019064 20020128; JP19900218608 19900820

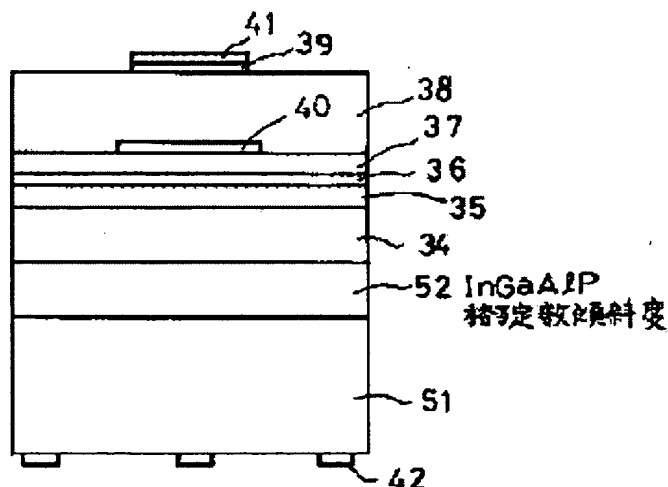
[View INPADOC patent family](#)

[Report a data error here](#)

### Abstract of JP2002237617

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To prevent a light from an active layer from being absorbed to a substrate and enable mission of high efficiency light, even in a short wavelength area such as yellow, green, etc.

**SOLUTION:** This semiconductor light-emitting diode is provided with a double heterostructure with an active layer 36 made of InGaAlP-based material being pinched by clad layers 35 and 37. A GaP substrate 51 is used as the substrate, and a first electrode 41 is formed on the double heterostructure and a second electrode 42 is selectively formed on the opposite side to the double thereto structure of the substrate 51, thereby obtaining a light from the side of the second electrode 42.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-237617

(P2002-237617A)

(43) 公開日 平成14年8月23日 (2002.8.23)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別部号

F I

テマコード\* (参考)

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

B

21/308

21/308

C

審査請求 有 請求項の数7 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2002-19064(P2002-19064)

(62) 分割の表示 特願平3-51358の分割

(22) 出願日 平成3年3月15日 (1991.3.15)

(31) 優先権主張番号 特願平2-218608

(32) 優先日 平成2年8月20日 (1990.8.20)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 石川 正行

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝総合研究所内

(72) 発明者 菅原 秀人

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝総合研究所内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

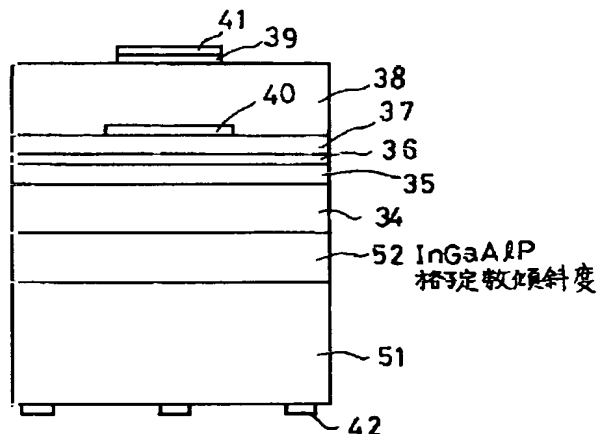
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光ダイオード

(57) 【要約】

【課題】 活性層からの光が基板で吸収されるのを防止でき、黄色、緑色等の短波長領域でも高効率の発光を可能にする。

【解決手段】 化合物半導体基板上にInGaAlP系材料からなる活性層36をクラッド層35、37で挟んだダブルヘテロ構造部を有する半導体発光ダイオードにおいて、基板としてGaP基板51を用い、ダブルヘテロ構造部上に第1の電極41を形成し、基板51のダブルヘテロ構造部と反対側面に第2の電極42を選択的に形成し、第2の電極42側から光を取り出す。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaP基板と、この基板上に形成された、InGaAlP系材料からなる活性層をInGaAlP系材料からなるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部と、このダブルヘテロ構造部上に形成された第1の電極と、前記基板の前記ダブルヘテロ構造部と反対側面に選択的に形成された第2の電極とを具備してなり、第2の電極側から光を取り出すことを特徴とする半導体発光ダイオード。

【請求項2】 前記ダブルヘテロ構造部と前記第1の電極との間に、電流拡散層が形成されてなり、第1の電極側からも光を取り出すことを特徴とする請求項1記載の半導体発光ダイオード。

【請求項3】 前記電流拡散層は膜厚を $5\sim 30\mu\text{m}$ の範囲に設定し、キャリア濃度を $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ の範囲に設定してなることを特徴とする請求項2記載の半導体発光ダイオード。

【請求項4】 前記活性層は厚さ $0.15\sim 0.75\mu\text{m}$ の範囲で、キャリア濃度 $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以下のp型又はキャリア濃度 $5\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下のn型であり、前記ダブルヘテロ構造部を構成するクラッド層のうち、p型クラッド層のキャリア濃度を $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}\sim 2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ の範囲に設定してなることを特徴とする請求項1～3の何れかに記載の半導体発光ダイオード。

【請求項5】 前記活性層はp型であることを特徴とする請求項4記載の半導体発光ダイオード。

【請求項6】 前記ダブルヘテロ構造部を構成するクラッド層のうち、n型クラッド層のキャリア濃度を $1\times 10^{16}\text{cm}^{-3}\sim 7\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ の範囲に設定してなることを特徴とする請求項1～5の何れかに記載の半導体発光ダイオード。

【請求項7】 前記活性層を、Al組成の異なるInGaAlP材料からなる井戸層と障壁層により構成される多重量子井戸構造としたことを特徴とする請求項1～6の何れかに記載の半導体発光ダイオード。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、化合物半導体材料を用いた半導体発光ダイオードに係わり、特に活性層にInGaAlP系材料を用いた半導体発光ダイオードに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 LED（発光ダイオード）は、低消費電力、高効率、高信頼性の得られる光源として、光通信や光情報処理等の各種の分野での応用に用いられている。特に、可視波長域では発光層材料として、GaP（緑）、GaAsP（黄色、橙色、赤色）、GaAlAs（赤色）等の化合物半導体を用いられている。

【0003】 しかし、GaP、GaAsPは間接遷移型の半導体であり、その発光効率は透明な基板を用い、吸

収の影響をなくしても0.5%程度以下と極めて低いものである。また、GaAlAsは660nmでは8%程度の効率が得られるものの、これより短波長ではやはり間接遷移の影響により、635nmでの効率は1%程度である。

【0004】 人間の目の視感度を考慮すると、GaAlAs系では660nmで3cd（カンデラ）、635nmで1cdに相当する。一方、GaPでは0.5cd以下、GaAsPでは0.3cd以下のものしか実現されておらず、橙色、黄色、緑色の領域での高輝度のLEDの開発が強く囑望されていた。

【0005】 InGaAlP混晶は、窒化物を除くIII-V族化合物半導体混晶中で最大の直接遷移型エネルギーギャップを有し、 $0.5\sim 0.6\mu\text{m}$ 帯の発光素子材料として注目されている。特にGaAsを基板とし、これに格子整合するInGaAlPによるLEDは、緑色から赤色までの高輝度の発光の可能性を持っている。しかしながら、この種のLEDにあっても、短波長の領域での発光効率は必ずしも十分高いとは言えなかった。

【0006】 図30に、InGaAlP発光部を有する従来のLEDの素子構造断面図を示す。図中1はn-GaAs基板、2はn-InGaAlPクラッド層、3はInGaAlP活性層、4はp-InGaAlPクラッド層、5はp-GaAlAs電流拡散層、6はp-GaAsコンタクト層、7はAuZnからなるp側電極、8はAuGeからなるn側電極である。

【0007】 InGaAlP活性層3のエネルギーギャップは、クラッド層2、4のそれより小さくなるように混晶組成が設定されており、光及びキャリアを活性層3に閉じ込めるダブルヘテロ構造をなしている。また、p-GaAlAs電流拡散層5の組成は、InGaAlP活性層3からの発光波長に対し略透明になるように設定されている。

【0008】 図30の構造において、活性層3を厚さ $0.2\mu\text{m}$ のアンドープの $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.5}\text{P}$  ( $x=0.4$ )とした場合、その導電型はn型であり、濃度は $1\sim 5\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 程度であった。このとき、発光波長は565nm（緑）、発光効率はDC20mAで0.07%程度であった。また、 $x=0.3$ としたとき、発光波長は585nm（黄）、発光効率はDC20mAで0.4%程度と低く、GaP、GaAsP系に対する特性的なメリットは必ずしも見られなかった。一方、 $x=0.2$ としたとき、発光波長は620nm（橙色）、発光効率はDC20mAで1.5%程度であり、発光波長に対し吸収体となるGaAs基板1を特に除去することなくGaAlAs系を上回る発光効率が得られた。

【0009】 このような発光効率の組成依存性の原因について本発明者らが鋭意検討を重ねた結果、n伝導型における移動度と強い相関があることが判った。即ち、移

動度はAl組成 $x=0.3$ 程度で急激に低下した。また、これに合わせてドナーレベルが深くなることも観測された。これらは、n伝導型における深い準位の発生が非発光再結合を来し、発光効率の低下につながっていると考えられた。また、活性層3のAl組成 $x$ が高く発光波長が短い場合、クラッド層2、4とのエネルギーギャップ差を十分にとることができず、特に有効質量の小さい電子のp型クラッド層4へのオーバーフローが顕著になり、これが発光効率の低下につながっていることも考えられた。

【0010】一方、図30の構成では電流拡散層5を設けて電極7から注入された電流を広げているが、電流拡散層5を設けない場合、次のような理由により注入電流の広がり小さくなり、発光領域は電極直下付近のみとなる。即ち、クラッド層2、4のAl組成は、活性層3とのバンドギャップ差を持たせるために活性層3のそれよりも十分大きくする必要がある。pクラッド層4においては、Al組成が大きいと、キャリア濃度を高くすることはできず抵抗が大きくなる。このため、pクラッド層4における電流の広がり小さく、電極直下付近のみが発光領域となる。この場合、光を上から取り出す構成においては、電極7が発光領域からの光を遮ることになり、光取り出し効率の低下を招く。

【0011】また、InGaAlP系材料を用いた半導体発光素子においては、より短波長の発光を得るために活性層のAl組成を大きくすると、活性層の非発光センターが増加して非発光再結合が増えるために、発光効率が低下するという問題があった。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来のInGaAlP系によるLEDでは、特に黄色、緑色での高効率の発光を得ることは困難であった。また、発光部における電極下の電流集中が生じ、光取り出し効率の低下や、活性層中の非発光再結合の増加のために、高輝度化を実現することは困難であった。

【0013】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、黄色、緑色等の短波長領域でも高効率の発光が可能な半導体発光ダイオードを提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】(構成)上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。

【0015】即ち本発明は、半導体発光ダイオードにおいて、GaP基板と、この基板上に形成された、InGaAlP系材料からなる活性層をInGaAlP系材料からなるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部と、このダブルヘテロ構造部上に形成された第1の電極と、前記基板の前記ダブルヘテロ構造部と反対側面に選択的に形成された第2の電極とを具備してなり、第2の電極側から光を取り出すことを特徴とする。

【0016】ここで、本発明の望ましい実施態様としては次のものが挙げられる。

【0017】(1) 活性層は厚さ $0.15\sim0.75\mu\text{m}$ の範囲で、キャリア濃度 $1\times10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以下のp型又はキャリア濃度 $5\times10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下のn型であり、ダブルヘテロ構造部を構成するクラッド層のうち、p型クラッド層のキャリア濃度を $5\times10^{17}\text{cm}^{-3}\sim2\times10^{18}\text{cm}^{-3}$ の範囲に設定してなること。

【0018】(2) ダブルヘテロ構造部を構成するクラッド層のうち、n型クラッド層のキャリア濃度を $1\times10^{16}\text{cm}^{-3}\sim7\times10^{17}\text{cm}^{-3}$ の範囲に設定してなること。

【0019】(3) 活性層を、Al組成の異なるInGaAlP材料からなる井戸層と障壁層により構成される多重量子井戸構造としたこと。

【0020】(4) ダブルヘテロ構造部と第1の電極との間にGaAlAsからなる電流拡散層が形成され、この電流拡散層の膜厚を $5\sim30\mu\text{m}$ の範囲に設定し、且つキャリア濃度を $5\times10^{17}\text{cm}^{-3}\sim5\times10^{18}\text{cm}^{-3}$ の範囲に設定してなること。

【0021】(5) ダブルヘテロ構造部と第1の電極との間に電流拡散層が形成されてなり、第1の電極側からも光を取り出すこと。

【0022】(6) 電流拡散層は膜厚を $5\sim30\mu\text{m}$ の範囲に設定し、キャリア濃度を $5\times10^{17}\text{cm}^{-3}\sim5\times10^{18}\text{cm}^{-3}$ の範囲に設定してなること。

【0023】(作用)本発明によれば、素子形成基板としてGaPを用い、活性層としてInGaAlPを用いているので、活性層からの光が基板で吸収されることなく、基板側から光を有効に取り出すことができる。また、InGaAlPからなる活性層を、低濃度のp型(キャリア濃度 $1\times10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以下のp型)又は低濃度のn型(キャリア濃度 $5\times10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下のn型)とすることによって、前述した非発光再結合の影響を低減することが可能となる。また、活性層の厚さを最適化( $0.15\sim0.75\mu\text{m}$ )すると共に、p型クラッド層のキャリア濃度を最適化( $5\times10^{17}\text{cm}^{-3}\sim2\times10^{18}\text{cm}^{-3}$ )することにより、高効率の発光が得られることになる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の詳細を図示の実施形態によって説明する。

【0025】(第1の実施形態)図1は、本発明の第1の実施形態に係わる半導体発光ダイオードの概略構造を示す断面図である。図中11はn-GaAs基板であり、この基板11上にはn-InGaAlPクラッド層12、p-InGaAlP活性層13及びp-InGaAlPクラッド層14からなるダブルヘテロ構造部が成長形成されている。ダブルヘテロ構造部上にはp-GaAlAs電流拡散層15が成長形成され、この電流拡散

層15上の一部にGaAsコンタクト層16が成長形成されている。そして、コンタクト層16上にAuZnからなるp側電極17が形成され、基板11の下面にAuGeからなるn側電極18が形成されている。

【0026】p-InGaAlP活性層13のエネルギーギャップは、クラッド層12、14のそれより小さくなるように混晶組成が設定されており、光及びキャリアを活性層13に閉じ込めるダブルヘテロ構造をなしている。p-GaAlAs電流拡散層15の組成は、活性層13からの発光波長に対し略透明になるように設定されている。なお、本実施形態では基板側をn型の導電型としたが、導電型を逆にした構造でも同様に考えることができる。

【0027】図1に示した構造において、各層の厚さ、キャリア濃度は以下のように設定されている。n-GaAs基板11 ( $250\mu\text{m}$ ,  $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )、n-InGaAlPクラッド層12 ( $1\mu\text{m}$ ,  $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ )、p-InGaAlP活性層13 ( $0.5\mu\text{m}$ ,  $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ )、p-InGaAlPクラッド層14 ( $1\mu\text{m}$ ,  $7 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ )、p-GaAlAs電流拡散層15 ( $7\mu\text{m}$ ,  $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )、p-GaAsコンタクト層16 ( $0.1\mu\text{m}$ ,  $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )、である。

【0028】また、p側電極17は直径 $200\mu\text{m}$ の円形とした。活性層13及びクラッド層12、14の組成を、 $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.5}\text{P}$ の表記でそれぞれ0.4、0.7とした場合、発光波長は $565\text{nm}$ (緑)、発光効率はDC $20\text{mA}$ で0.7%程度と従来の10倍の効率が得られた。

【0029】図2は、活性層13の膜厚を $0.5\mu\text{m}$ としたときの発光効率の活性層キャリア濃度依存性を示している。p型はZnドープで、 $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下のn型はアンドープで、それ以上のn型はSiドープにより作成した。このとき、n型ではその濃度が高くなるにつれて発光効率は低下した。これは、深いレベルの発生により、非発光再結合が増加すること、少数キャリアである正孔の拡散長が低下することによると考えられた。

【0030】一方、p型では $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ より濃度を増すと、発光効率が顕著に低下した。これは、Znの多量のドーピングにより、非発光再結合を引き起こすセンターが形成されたためと考えられる。また、図2に示す特性曲線は、活性層13の膜厚を変えても上下方向にシフトするだけで、発光効率の高くなる範囲は殆ど変わらなかった。従って、活性層13としては、キャリア濃度 $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以下のp型又はキャリア濃度 $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下のn型が望ましい。

【0031】図3は、活性層13のキャリア濃度を $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ (p型)としたときの、発光効率の活性層厚さ依存性を示している。活性層13の厚さは、pクラッド層14のキャリア濃度にも依存するが、0.15～

$0.75\mu\text{m}$ の範囲で高い発光効率が得られた。

【0032】なお、図3には示さないが、キャリア濃度が $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以上のn型の活性層は、Znドープのp型の活性層よりも同じ膜厚では発光効率が低くなり、且つ発光効率のピーク値が薄膜側に存在した。薄膜での効率の低下は、活性層の注入キャリア密度が注入電流密度/活性層厚により決まることから、高注入密度によるクラッド層へのオーバーフローが顕著に発生することによると考えられる。活性層13をp型としたものでは、多数キャリアが正孔であり、電子の注入により発光が起こるため、オーバーフローによる影響がアンドープの場合に比べ難いと考えられる。一方、厚膜では活性層内での注入キャリアの拡散長より大きくなると、ダブルヘテロ構造による効果が低下し、層内での吸収や低キャリア密度での相対的な非発光再結合の増加による発光効率の低下が発生すると考えられる。

【0033】このように本実施形態によれば、InGaAlPからなる活性層13のキャリア濃度及び膜厚を最適化することにより、非発光再結合の影響を低減することができ、発光効率の向上をはかることができる。このため、黄色、緑色等の短波長領域でも高効率の発光が可能な半導体発光ダイオードを実現することができる。

【0034】上記実施形態では、活性層13のAl組成xを0.4としたものについて述べたが、これ以外のAl組成としたものについても、同様の効果があった。ここで、キャリア濃度の如何に拘らずAl組成xを変えると発光波長も変わるが、図4に示すように、Al組成xを大きくして発光波長を短くするほど、発光効率は低下することになる。この場合も、キャリア濃度 $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以下のp型又はキャリア濃度 $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下のn型であれば、高い発光効率が得られる。

【0035】(第2の実施形態)図5は、本発明の第2の実施形態に係わる半導体発光ダイオードの概略構造を示す断面図である。

【0036】図5に示した構造において、31は第1導電型半導体基板であり、この基板31上には第1導電型のバッファ層32、反射層33及び透明バッファ層34が成長形成されている。透明バッファ層34上には、下部クラッド層(第1導電型クラッド層)35、活性層36及び上部クラッド層(第2導電型クラッド層)37からなるダブルヘテロ構造部が形成されている。

【0037】ダブルヘテロ構造部上には第2導電型の電流拡散層38が成長形成され、電流拡散層38上の一部には第2導電型のコンタクト層39が形成されている。また、ダブルヘテロ構造部と電流拡散層38との界面には、コンタクト層39に対応する位置に第1導電型の電流阻止層40が形成されている。そして、コンタクト層39上に上部電極41が形成され、基板31の下面に下部電極42が形成されている。

【0038】次に、上記素子における基板、各層のキャ

リア濃度及び膜厚、その他の条件について説明する。なお、この条件は、先に説明した第1の実施形態においても同様に適用できるものである。

【0039】第1導電型半導体基板31はn-GaAsからなり、そのキャリア濃度は $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。これは、低濃度では欠陥密度の低い物が得られないこと、高濃度では基板31上に形成するInGaAlPからなる層を良好に形成できないことによる。また、その厚さは $50 \sim 450 \mu\text{m}$ である。これは、薄膜ではウェハでの取扱いが難しいこと、基板とその上に形成する層のわずかな格子定数の違いで反りを生ずること等が問題となり、厚膜ではペレット状にすることが困難になることによる。

【0040】n-GaAs基板31の面方位は(100)又は(100)から25度の範囲で傾斜している。これは、傾斜の方向、角度により同じ波長を得るための活性層36の組成が異なること、また欠陥密度が異なることなどにより、結晶性が変化し、発光効率に影響を与えるためである。図6は、基板表面の傾斜角度と590nmの発光を得るためのAl組成xとの関係を示す特性図であり、この図から傾斜角度が[011]方向に7度以上となると、Al組成xを0.3と小さくできることが判る。

【0041】図7は、[011]方向に傾斜した角度とフォトルミネッセンスの半値幅との関係を示す特性図である。この図から、傾斜角度が10度～20度で最も小さい半値幅が得られる。従って、基板31の望ましい面方位としては、(100)から[011]方向へ、7度～25度傾斜させた場合であり、特に望ましい面方位としては、(100)から[011]方向へ、10度～20度傾斜させた場合であった。

【0042】バッファ層32は、基板表面の汚染などによる欠陥の発生、発光層への伝達を防止するためのものであり、例えばn-GaAsを用いる。そのキャリア濃度は $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ で、厚さは $0.6 \mu\text{m}$ である。この場合、上記の目的を満たす材料であればn-GaAsでなくともかまわず、例えば、n-InGaP、n-GaAlAs、n-InGaAlP、或いはn-GaAsを含めた、これらの材料による超格子構造(原子層オーダーから100原子層オーダー周期でトータル厚さ100nm程度)などでもよい。また、発光層への悪影響がなければ、特にバッファ層32を設けなくてもよい。

【0043】反射層33は、発光波長に対し光吸収体となる基板31やバッファ層32に光が達しないように、発光を基板31と反対方向へ反射することを目的としたものである。これには、発光波長入に対して屈折率 $\eta$ の異なる2種類の半導体層を、 $\lambda/(4n)$ の厚さで積層することが望ましい。

【0044】例えば、590nmの発光波長に対し、n-GaAs( $\eta=3.94$ ; 厚さ37.5nm)、n-

Ga<sub>0.3</sub>Al<sub>0.7</sub>As( $\eta=3.425$ ; 厚さ43nm)を交互に20層以上積層することで、基板側へ向かう光の約30%を、基板等の吸収体に到達する前に反射することができ、高い発光効率を得られる。このときのドーピング量は、通電の際に大きな電圧降下による動作電圧上昇が起きないように設定されていればよく、ここでは $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした。この際、反射層33中のn-GaAsは発光波長に対して吸収体であるが屈折率の効果による反射の効果は十分ある。

【0045】この他にも、n-InGaAlP、n-InAlP、n-InGaP、n-InGaAsP、n-GaAlAs、n-GaAs等の材料、及びその組成の違いの組み合わせにより、同様に反射層を構成することによって、高い発光効率を得られる。なお、基板側での光吸収が発光効率に対し、大きなデメリットとならない場合は、反射層33を設けなくてもよい。

【0046】透明バッファ層34は、発光波長に対し吸収係数の十分小さい透明な材料からなり、側面からの発光を有効に取り出すことに寄与する。これは、図8に示すように、透明バッファ層34が十分厚い場合、基板側へ向かう発光や、基板と反対側へ発せられペレット表面での全反射によって再び基板方向へ進む光に対し、これらの光が基板等の光吸収体に到達するまでに、ペレットの側面から放出できる割合が高くなることによる。

【0047】例えば、ペレットの大きさを $300 \mu\text{m}$ 角、発光波長を590nmとする時、n-Ga<sub>0.3</sub>Al<sub>0.7</sub>As透明バッファ層34を厚さ $30 \mu\text{m}$ 設けることによって、側面から取り出せる光の増加により、30%程度高い発光効率を得られる。これは、透明バッファ層34の厚さと同程度の距離の範囲で、ペレット側面近傍での発光が有効に取り出せていることによると考えられる。

【0048】透明バッファ層34のドーピング量は、通電の際に大きな電圧降下による動作電圧上昇が起きないように設定されていればよく、ここでは $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした。また、透明バッファ層34の厚さは、ペレットのサイズに対し、発光が有効に取り出せるペレット側面近傍の領域が有意に大きいことが必要であり、ペレットサイズの5%程度以上であることが目安となる。

【0049】例えば $300 \mu\text{m}$ 角のチップでは、図9に示すように、透明バッファ層34の厚さを $15 \mu\text{m}$ 程度以上とすれば、十分な発光効率の向上が認められた。このとき、透明バッファ層34の厚さが厚いほど、高い発光効率を得られるが、 $100 \mu\text{m}$ 以上ではウェハの反りにより発生する欠陥、面内分布等により発光効率は低下する。

【0050】透明バッファ層34と反射層33を組み合わせることによって、図10に示すように、反射層33とペレット表面での全反射をジグザク状に繰り返し、側面に放出される光を有効に取り出せる様になるのは言う

までもない。また、このような効果は透明バッファ層34を2種類以上の屈折率の異なる材料、組成による層構造とすることによっても得られる。この場合、屈折率の低い層を基板側とすることが重要である。

【0051】ここでは、透明バッファ層34として $n$ -GaAlAsを用いたが、この他にも、 $n$ -InGaAlP、 $n$ -InAlP等の発光波長に対し透明な材料でも同様な効果があることは言うまでもない。また、反射層33は透明バッファ層34中にあってもかまわない。なお、基板側での光吸収が発光効率に対し、大きなデメリットとならない場合は、透明バッファ層34を設けなくてもよい。

【0052】下部クラッド層35は、活性層36に注入されたキャリアを活性層36内に閉じ込めることにより高い発光効率を得るためのものである。即ち、活性層36の導電型が $n$ 型でキャリア濃度が注入キャリア密度より小さい場合（少数キャリアが正孔の場合）、活性層36の導電型が $p$ 型でキャリア濃度が注入キャリア密度より小さい場合（少数キャリアが電子の場合）、或いは注入キャリア密度が活性層36のキャリア濃度に比べ高い場合（所謂ダブルインジェクション状態の場合）、いずれの場合においても活性層36に注入されたキャリアを、下部クラッド層35へ拡散するのを抑える効果がある。この場合、下部クラッド層35は活性層36よりもエネルギーギャップが大きいことが必要となる。

【0053】ここでは、下部クラッド層35として、 $n$ - $\text{In}_{1-y}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_y\text{P}$ の組成表記( $x$ ,  $y$ )において、 $x=0.7$ ,  $y=0.5$ とした。これは、活性層36の発光波長を555nmまでに短波長化した場合でも、十分なキャリア閉じこめ効果が得られるエネルギーギャップが得られるからである。また、GaAs基板31に格子定数が一致するため良好な結晶が得られるからである。このようなクラッド層の組成範囲は、上記の組成表記において $0.6 \leq x \leq 1$ であった。これは、 $n$ -InGaAlPがほぼ間接遷移型のエネルギーギャップを有する範囲である。この領域でのエネルギーギャップは、組成 $x$ と共に増加するため、 $x$ の大きな組成でのキャリア閉じ込め効果は大きい。

【0054】また、InGaAlP系材料では、原子配列の秩序構造の形成が起こり易く、これによって、同じ組成であってもエネルギーギャップが変化する。全く秩序構造のないランダムな状態でのエネルギーギャップが、同じ組成での最大のエネルギーギャップを与える。秩序構造のない場合がキャリア閉じ込めのためには有利である。このような無秩序構造は、基板31において前述の傾斜した方位を用いることで容易に形成することができた。

【0055】一方、下部クラッド層35のキャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした。図11に $n$ クラッド層35のキャリア濃度と発光効率との関係を示す。この図に示

すように、発光効率の観点から、望ましいキャリア濃度の範囲は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ から $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であった。これは、上部クラッド層37、電流拡散層38等との抵抗率との関係から、電極41によって光取り出しができない電極直下以外へ電流を広げる上で、その抵抗率を高く、ひいてはキャリア濃度を低く設定することが望ましいこと。さらに、InGaAlP中にSi, Se等のドーパントが、その濃度に従って深いレベルを形成し、活性層36に注入されたキャリアが、活性層近傍の $n$ -InGaAlP下部クラッド層35にあるこれらのレベルを介して非発光再結合すること等がその理由と考えられた。

【0056】望ましいキャリア濃度の下限は、通電の際に大きな電圧降下による動作電圧上昇が起きないために必要な最低の濃度であり、上限は、非発光再結合が増加することから決まったものである。また、特に望ましいキャリア濃度の範囲は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ から $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であった。この場合の上限は、低抵抗化により電流広がり効果が小さくなることによると考えられた。

【0057】下部クラッド層35とバッファ層32又は反射層33を直接接合させる場合には、 $n$ -InGaAlPと $n$ -GaAsなどとのヘテロ接合が形成される。このとき、エネルギーギャップの小さいGaAs側から電子を注入する場合、ヘテロ接合による障壁を乗り越えるための過剰な電圧降下を必要とした。このため、電流はこの界面をベレット全体に均一に流れることで電流密度を減らし、電圧降下を防ぐように流れ、結果的に大きな電流広がりを得ることができた。これは、 $n$ -InGaAlPのキャリア濃度に大きく依存し、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下で顕著であった。

【0058】下部クラッド層35の厚さは、 $1 \mu\text{m}$ とした。これは、活性層36に注入されたキャリアを、下部クラッド層35へ拡散するのを抑える効果を持たせるために、 $0.5 \mu\text{m}$ 程度以上必要なこと、電流広がり効果を与えるのに必要に厚さが $2 \mu\text{m}$ 以下程度であることにより決まったものである。また、下部クラッド層35は透明バッファ層34と同じ材料、組成であってもかまわない。即ち、 $n$ -GaAlAsなどでもかまわない。また、シングルヘテロ構造やホモ接合構造などで、活性層に注入されたキャリアを、基板側へ拡散するのを抑えなくても、発光効率に対し、大きなデメリットとならない場合は、下部クラッド層35を設けなくてもよい。

【0059】活性層36は $\text{In}_{1-y}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_y\text{P}$ からなり、その組成 $x$ ,  $y$ 及び上記秩序構造の状態によってエネルギーギャップが決まり、注入されたキャリアが発光再結合する時、エネルギーギャップに対応した波長で発光する。前記図4に示すように、Al組成 $x$ を増すと共に発光波長は短波長化し、それに伴って発光効率の低下がみられた。これは、Al組成の増加と共に、直接遷移型のエネルギーギャップと間接遷移型のエ

エネルギーギャップの差が小さくなること、特にn型において深いレベルの発生が顕著になること、良好な結晶を得難くなること等によると考えられる。

【0060】これらを回避する方法として、いくつかの方法が考えられる。同じ波長を得るのに、なるべくAl組成の低い組成で実現する方法として、活性層36を無秩序構造とする方法がある。このような無秩序構造は、基板31において前述の傾斜した方位を用いることで容易に形成することができた。また、多重量子井戸構造(MQW)を採用することによって、エネルギーレベルの量子化により、Al組成の小さい層を発光層となる井戸層に用いても、短波長化が可能であった。

【0061】例えば、組成 $(x, y) = (0.3, 0.5)$ を井戸層、 $(0.7, 0.5)$ を障壁層とし、それぞれの厚さを2.5~5nmとし、10周期から100周期程度設けたものを活性層とすることにより、図12に示すように、 $(0.4, 0.5) \sim (0.5, 0.5)$ の組成のバルクからなる活性層と同等の波長(575~555nm)が得られた。

【0062】また、GaAsとの格子整合の枠を外すこと、即ち、活性層InGaAlPの格子定数をGaAsより小さくすることで、Alの組成を減らすことができる。また、逆に活性層InGaAlPの格子定数をGaAsより大きくすることで、直接遷移型のエネルギーギャップと間接遷移型のエネルギーギャップの差を大きくすることができる。いずれも、効果が顕著になるのは0.5%程度の格子不整合度以上であり、上限は転移の発生による非発光再結合の増加による。このような転移の発生は厚さに依存しており、0.3 $\mu$ m程度では1%程度に限界が現れた。

【0063】これを回避する方法として、上記MQW構造からなる活性層の井戸層として格子定数をずらした層を用いる方法が有効であった。井戸層の厚さは非常に薄いため、図13に示すように、転移発生の限界を与える格子不整合度は3%程度以上であり、非常に広い組成範囲を使うことができた。なお、活性層36の導電型は先の実施形態と同様に、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下のn型、或いは $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下のp型(図2を参照)とすることで高い発光効率を得られた。また、活性層36の厚さも先の実施形態と同様に、ペレットサイズ300 $\mu$ m角のもので、0.15 $\mu$ mから0.75 $\mu$ m(図3を参照)で高い発光効率を得られた。

【0064】上部クラッド層37は、下部クラッド層35と同様、活性層36に注入されたキャリアを活性層36内に閉じこめることにより高い発光効率を得るためのものである。即ち、少数キャリアが正孔の場合、少数キャリアが電子の場合、或いはダブルインジェクション状態の場合、いずれの場合においても活性層36に注入されたキャリアを、上部クラッド層37へ拡散するのを抑える効果がある。この場合、上部クラッド層37は活性

層36よりもエネルギーギャップが大きいことが必要となる。

【0065】ここでは、 $p\text{-In}_{1-y}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_y\text{P}$ の組成表記 $(x, y)$ において、 $x=0.7$ ,  $y=0.5$ とした。これは、活性層36の発光波長を555nmまでに短波長化した場合でも、十分なキャリア閉じ込め効果が得られるエネルギーギャップが得られるからである。また、GaAs基板格子定数が一致するため良好な結晶が得られるからである。このような、pクラッド層37の組成範囲は、図14に示すように、上記の組成表記において $0.6 \leq x \leq 1$ であった。これは、 $p\text{-InGaAlP}$ がほぼ間接遷移型のエネルギーギャップを有する範囲である。この領域でのエネルギーギャップは、組成 $x$ と共に増加するため、 $x$ の大きな組成でのキャリア閉じ込め効果は大きい。

【0066】また、InGaAlP系材料では、原子配列の秩序構造の形成が起こり易く、これによって、同じ組成であってもエネルギーギャップが変化する。全く秩序構造のないランダムな状態でのエネルギーギャップが、同じ組成での最大のエネルギーギャップを与える。秩序構造のない場合が、キャリア閉じ込めのためには有利である。このような無秩序構造は、基板31において前述の傾斜した方位を用いること、さらに十分高いドーピングを行うことで、容易に形成することができた。

【0067】一方、上部クラッド層37のキャリア濃度は $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした。図15にpクラッド層37のキャリア濃度と発光効率との関係を示す。この図に示すように、発光効率の観点から、望ましいキャリアの濃度の範囲は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であった。これは、下部クラッド層35、電流拡散層38等との抵抗率との関係から、電極41によって光取り出しができない電極直下以外へ電流を広げる上で、その抵抗率を低く、ひいてはキャリア濃度を高く設定することが望ましいこと、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高いドーピングをすることで、無秩序構造が容易に形成でき、エネルギーギャップを大きくすることができるため、キャリア閉じ込めが有効に行えるためである。

【0068】上部クラッド層37の厚さは1 $\mu$ mとした。これは、活性層36に注入されたキャリアを、上部クラッド層37へ拡散するのを抑える効果を持たせるために、0.5 $\mu$ m程度以上必要なこと、電流広がり効果を与えるのに必要な厚さが2 $\mu$ m以下程度であることにより決まったものである。また、上部クラッド層37は電流拡散層38などと同じ材料、組成であってもかまわない。即ち、 $p\text{-GaAlAs}$ などでもかまわない。また、シングルヘテロ構造やホモ接合構造などで、活性層に注入されたキャリアを、基板側と反対側へ拡散するのを抑えなくても、発光効率に対し大きなデメリットとならない場合は、上部クラッド層を設けなくてもよい。

【0069】電流拡散層38は、電極41によって光取



り出しができない電極直下以外へ電流を広げるためのものである。電流拡散層38は発光波長に対し、吸収係数の十分小さい透明な材料からなる。例えばペレットの大きさを $300\mu\text{m}$ 角、電極を直径 $150\mu\text{m}$ 程度の円形とし、発光波長を $590\text{nm}$ とすると、キャリア濃度 $3\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ の $\text{p-Ga}_{0.3}\text{Al}_{0.7}\text{As}$ を厚さ $1.5\mu\text{m}$ 設けることによって、電流の広がりにはチップ全体に渡り、これを設けない場合の約30倍程度高い発光効率が得られた。

【0070】電流拡散層38の厚さは、電流の広がりを大きくできるほど望ましい。有効な電流広がり効果が得られるのは、図16に示すように、 $5\mu\text{m}$ 以上の厚さであった。一方、 $30\mu\text{m}$ 以上の厚さになると、電流広がり効果が飽和すると共に、長時間の成長による活性層36への上部クラッド層37などからの不純物拡散などによる発光効率の低下などが起こることにより、むしろ素子としての発光効率は低下した。

【0071】電流拡散層38のキャリア濃度は、図17に示すように、電流広がりを十分に得るために $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以上であることが望ましい。一方、 $5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上にドーピングすると、電流広がりには十分であるものの、発光波長に対する吸収が大きくなり、結局素子としての発光効率は低下した。

【0072】電流拡散層38のAl組成 $x$ は、発光波長に対し吸収係数が $100\text{cm}^{-1}$ 程度以下で、なるべく低い方が望ましい。このとき、図18に示すように、 $\text{p-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ の組成 $x$ は大きいほど、ある波長での吸収係数は小さくなる。 $\text{InGaAlP}$ による発光波長の領域に対しては、 $x$ は0.6以上であることが望ましい。一方、 $x$ の大きな $\text{GaAlAs}$ では結晶性のよいものが得難く、吸収係数はむしろ増加した。このため、 $x$ は0.8以下であることが望ましかった。

【0073】電流拡散層38と上部クラッド層37の接合では、 $\text{p-InGaAlP}$ と $\text{p-GaAlAs}$ などとのヘテロ接合が形成される、このとき、エネルギーギャップの小さい $\text{p-GaAlAs}$ 側から正孔を注入する場合、ヘテロ接合による障壁を乗り越えるための過剰な電圧降下を必要とした。このため、電流はこの界面をペレット全体に均一に流れることで電流密度を減らし、電圧降下を防ぐように流れ、結果的に大きな電流広がりを得ることができた。これは、 $\text{p-InGaAlP}$ のキャリア濃度に大きく依存し、 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下で顕著であった。

【0074】ここでは、電流拡散層38として $\text{p-GaAlAs}$ を用いたが、この他にも、 $\text{p-InGaAlP}$ 、 $\text{p-InAlP}$ などの発光波長に対し透明な材料でも同様な効果があることは言うまでもない。また、電流拡散層38を設けないことで、発光効率に対し、大きなデメリットとならない場合は、電流拡散層38を設けなくてもよい。

【0075】コンタクト層39は、電極41に対するオーミック接触を容易にとるための層であり、例えば $\text{p-GaAs}$ を用いた。具体的には、図19に示すように電流拡散層38上に $\text{p-GaAs}$ 層39を成長形成した後、上部電極41を形成し、レジスト44をマスクに電極41及び $\text{p-GaAs}$ 層39を選択エッチングし、最終的にレジスト44を除去することにより形成した。

【0076】コンタクト層39の濃度は、容易にコンタクト抵抗を十分低くするために $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上であることが望ましい。またその厚さは、 $50\text{nm}$ 以上であることが再現のよいコンタクトをとるために重要であった。コンタクト層39は必ずしも発光波長に対し透明である必要はない。これは、電極以外の部分を選択的に除去することで、吸収の効果を回避することができるからである。この場合、電極形成時のアロイ化などで生ずるダメージ部分を同時に除去できるというメリットもある。

【0077】なお、この場合に、コンタクト層39が厚いと、除去プロセスにおいて、電極41の端部のコンタクト層が無くなり、電極41がはがれ易くなるなどのことが起こるため、コンタクト層39の厚さは $150\text{nm}$ 程度以下であることが望ましい。また、コンタクト層39は十分に薄ければ、吸収を小さくすることができるので、必ずしも電極以外の部分で除去する必要はない。

【0078】ここでは、コンタクト層39として $\text{p-GaAs}$ を用いたが、この他にも、 $\text{p-InGaP}$ 、 $\text{p-InGaAlP}$ 、 $\text{p-GaAlAs}$ などを用いてもよい。また、コンタクト層39を特に設けなくて、電流拡散層などに直接電極を形成してもかまわない。

【0079】上部電極41は $\text{AuZn/Au}$ からなり、ペレットに電流注入を行うと共に、ワイヤボンディングのためのパッドとなる。電極41はペレット全体に電流を広げるのに有効である、発光を遮断しないようにすることが重要である。

【0080】電流阻止層40は、電極41によって光取り出しができない電極直下以外へ電流を広げるためのものである。即ち、電極41の直下の一部又は全部に電流注入を妨げる働きをする層を挿入することで、電極直下への無効な電流注入を回避するものである。電流阻止層40は、電極41と活性層36の間にあればよい。例えば、前記図5に示すように上部クラッド層37と電流拡散層38との間、また図20(a)に示すように電流拡散層38の内部、電流拡散層38とコンタクト層39との間、さらに図20(b)に示すようにコンタクト層39と電極41との間いずれでもかまわない。このとき、電流阻止層40の直下へ回り込む電流を低減するためには、なるべく活性層36に近い位置にあることが望ましい。

【0081】電流阻止層40としては、上部クラッド層37と反対の導電型を持つ半導体、例えば $\text{n-GaAs}$

s, n-GaAlAs, n-InGaP, n-InGaAlP, n-InAlPなど、或いは高抵抗の半導体、例えばGaAs, GaAlAs, InGaP, InGaAlP, InAlPなどを用いることができる。また、上部クラッド層37と同じ導電型を持ち、それと接する層との間にヘテロ接合による障壁を乗り越えるための過剰な電圧降下を必要とする構造をもつ半導体層、例えばp-GaAs/p-InGaAlP, p-GaAs/p-InAlP, p-GaAlAs/p-InGaAlP, p-GaAlAs/p-InAlPなど、或いは絶縁物、例えばSiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>などであれば使用することが可能である。

【0082】電流阻止層40を発光波長に対して透明な材料とすることで、発光をより有効に取り出すことができる。即ち、電極41の直下を含む領域に発光波長に対し透明な電流阻止層40を設けることによって電極直下への無効電流を減らし、また電流阻止層40の直下へ回り込んだ電流による発光を吸収の影響を受けることなく外部に取り出すことができる。

【0083】本実施形態では、例えばペレットの大きさを300μm角、電極を直径150μmの円形、発光波長を590nmとすると、n-In<sub>1-y</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>y</sub>Pの組成表記(x, y)において、x=0.7, y=0.5を電流阻止層40として、上部クラッド層37と電流拡散層38の間に挿入した。電流阻止層40の濃度は1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>、厚さは150nmとした。また、その形状は電極41を含む180μmの直径とした。このとき、電極41の直下へは電流は殆ど注入されず、ここでの発光が電極41に隠されても、発光効率には影響しなかった。また、電流阻止層40の直下へ回り込んだ電流による発光は、透明な電流阻止層40を通して外部に取り出されるため、無効電流にはならなかった。なお、電流阻止層40は、これを挿入しないことが発光効率に対し、大きなデメリットにならない場合は、特に設けなくてもよい。

【0084】上記のように構造を設定し、ペレットの大きさを300μm角、電極を直径150μmの円形とした素子ペレットを、広がり半値幅が8度程度になるように樹脂でモールドし、素子化することによって、In<sub>1-y</sub>(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>y</sub>P活性層35の組成をx=0.2, y=0.5とすることによって、発光波長610nmのオレンジ色の発光(光度10カンデラ)が、x=0.3, y=0.5とすることによって、発光波長590nmの黄色の発光(光度7カンデラ)が、x=0.4, y=0.5とすることによって、発光波長570nmの黄緑色の発光(光度3カンデラ)が、x=0.5, y=0.5とすることによって、発光波長555nmの緑色の発光(光度1カンデラ)が、それぞれ得られた。つまり、各層のキャリア濃度及び膜厚の最適化、基板の面方位に選択等により、短波長の発光でも高い発光効率

を得ることができた。

【0085】上記した第2の実施形態では、第1導電型半導体基板31としてn-GaAsを用いた例を示した。しかしながら、導電型の異なる、p-GaAsを用いてもかまわない。このとき、各半導体層の導電型を逆転することが必要である。この場合、各半導体層の厚さに関しては、n-GaAs基板31を用いた場合と同様の設定が望ましい。

【0086】一方、キャリア濃度については、電流広がりや発光効率を考慮すると、その最適値はn-GaAs基板31の場合と異なる。クラッド層については、n-GaAs基板31の場合、下部クラッド層35がn-InGaAlP、上部クラッド層37がp-InGaAlPであったが、p-GaAs基板を用いた場合には、上部クラッド層がn-InGaAlP、下部クラッド層がp-InGaAlPとなり、このときのn-InGaAlP及びp-InGaAlPそれぞれについての設定が同じであると考えればよい。

【0087】バッファ層32、反射層33、透明バッファ層34、電流拡散層38、コンタクト層39、電流阻止層40については導電型を逆転し、キャリア濃度の設定は同じでよい。活性層36については、基板の導電型によらず、n-GaAsの場合と同様の設定が望ましい。

【0088】p型の導電型基板を用いることの利点は、n型の場合に比べ、電流広がりやをより容易に拡大することができることである。これは、上述の組成域においてp-InGaAlP, p-GaAlAsに比べ、n-InGaAlP, n-GaAlAsの方が、同じ組成、キャリア濃度に対し、移動度が大きく、低抵抗率の層が得易く、これを活性層に対し上部電極側とすることにより、電流が広がり易く、発光部を容易に拡大できるためである。特に、電流拡散層38にn-GaAlAsを用いた場合、p-GaAlAsを用いた場合の1/2の抵抗率となるため、図21に示すように、その厚さ(下限側の厚さ)を1/2にしても、略同等の電流広がり、ひいては発光効率を得られた。これは、結晶成長時間の短縮、ひいては生産性の向上に有効であった。

【0089】また、第1導電型半導体基板31としてn-GaAs又はp-GaAsを用いた場合、実施形態にも詳述したように、発光波長に対し基板は光吸収体として働く。基板31に吸収された光は、外部に取り出すことができないため、活性層36での発光の約1/2は発光効率に寄与しない。これを取り出す方法として、図22に示すように、基板31及び発光波長に対し吸収体となるバッファ層32等を除去することが有効である。

【0090】この場合、ペレットの機械的強度を保持するために、透明バッファ層34、電流拡散層38の厚さを厚く設定し、基板除去後のウェハ厚さを50μm程度以上に設定することが重要である。このとき、下部電極4

2は透明バッファ層34に形成される。下部電極42或いはアセンブリの際にこの下に形成する反射板により、下部へ出射された光は吸収を受けずに外部に取り出せる。

【0091】また、ここまでの説明では、第1導電型半導体基板31としてn-GaAs、p-GaAs、及びこれを除去した例を示した。この他にも、GaP、ZnSe、ZnS、Si、Ge等の半導体、及びGaAsを含めこれらからなる混晶等を基板として用いてもよい。この場合、上述の導電型に対する考え方がそのまま当てはまり、これらの導電型のn型でもp型でもよい。GaP、ZnSe、ZnS、GaAsP、InGaP等を基板とする場合は、発光波長に対し基板は透明にすることができ、上述のように基板を除去する必要がないという利点がある。

【0092】しかし、これらの場合、GaAsと異なり、活性層材料と基板の格子整合が取れないことがある。この場合、基板と同じ導電型の格子定数傾斜層を設けることにより、活性層での転位の発生を抑え、非発光再結合を低減することが重要である。この場合、格子定数傾斜層の格子定数は、基板側から活性層側へ向かって、基板の格子定数から活性層の格子定数へ徐々に変化させる。このとき、この格子定数傾斜層の材料はInGaAlP等の、発光波長に対し透明なものが望ましい。活性層の格子定数をGaAsと同等とすると、透明バッファ層としてGaAlAsを格子定数傾斜層上に形成することで、活性層と同等の格子定数を持つ層を形成することになり、転位の低減にも有効である。この場合の構成を図23に示す。図中51が透明基板、52が格子定数傾斜層を示している。

【0093】Si、Geは発光波長に対し不透明であるものの、良質で基板結晶を得ることができるため、量産性、生産性の観点から望ましい基板結晶である。Siの場合、活性層材料と基板の格子整合が取れない。基板と同じ導電型の格子定数傾斜層を設けることにより、活性層での転位の発生を抑え、非発光再結合を低減することが重要である。この場合、格子定数傾斜層の格子定数は、基板側から活性層側へ向かって、基板の格子定数から活性層の格子定数へ徐々に変化させる。このとき、この格子定数傾斜層の材料は、GaP、AlP、GaAs、InP等による混晶、或いは超格子を用いる。Geの場合、格子整合に問題はない。

【0094】いずれの場合においても、透明バッファ層としてGaAlAsを形成することで、転位の低減にも有効である。また、これらの基板は、GaAsの場合と同様に、結晶成長後に基板を除去することが有効である。

【0095】これらn-GaAs以外の結晶を基板に用いた場合でも、電流拡散層等による電流の広がり効果、電流阻止層による無効電流低減の効果、活性層、ク

ラッド層等のキャリア濃度、厚さ、無秩序化の程度等の発光効率へ与える効果は前述した実施形態と同様である。

【0096】(第3の実施形態)図24は、本発明の第3の実施形態に係わる半導体発光ダイオードの素子構造を示す断面図である。図中61はn-GaAs基板であり、この基板61の主面は(100)面から[011]方向に15度傾斜している。基板61上に、n-In<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x1</sub>Al<sub>x1</sub>)<sub>0.5</sub> Pクラッド層62、In<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x2</sub>Al<sub>x2</sub>)<sub>0.5</sub> P活性層63、p-In<sub>0.5</sub>(Ga<sub>1-x3</sub>Al<sub>x3</sub>)<sub>0.5</sub> Pクラッド層64 (Znドープ)、p-In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub> P中間バンドギャップ層65、p-GaAsコンタクト層66が順次積層形成されている。そして、コンタクト層66上にAuZnからなるp側電極67が形成され、基板61の裏面にAuGeからなるn側電極68が形成されている。

【0097】図25は、図24に示した発光素子内の電流分布及び発光領域を示す模式図である。同図に発光素子内の電流分布72を破線矢印で、また発光領域71を節点でそれぞれ示している。InGaAlP各層のAl組成は、高い発光効率を得られるように、 $X2 \leq X1$ 、 $X2 \leq X3$ を満たすようにする。例えば、 $X1 = X3 = 0.7$ 、 $X2 = 0.3$ とする。

【0098】図24及び図25に示した構造において、各層の厚さ、キャリア濃度は以下に括弧内で示すように設定されている。n-GaAs基板61 (80 $\mu$ m,  $3 \times 10^{18}$  cm<sup>-3</sup>)、n-InGaAlPクラッド層62 (1 $\mu$ m,  $5 \times 10^{17}$  cm<sup>-3</sup>)、InGaAlP活性層63 (0.5 $\mu$ m, アンドープ)、p-InGaAlPクラッド層64 (2 $\mu$ m,  $2 \times 10^{18}$  cm<sup>-3</sup>)、p-InGaP中間バンドギャップ層65 (0.05 $\mu$ m,  $1 \times 10^{18}$  cm<sup>-3</sup>)である。また、p側電極67は直径200 $\mu$ mの円形とした。

【0099】本実施形態構造が従来構造と異なる点は、素子構造を積層するGaAs基板61の成長主面を(100)面から[011]方向に15度傾斜させた面にしたことであり、この構造の優位性について以下に説明する。

【0100】従来構造、つまりGaAs基板61の成長主面に(100)面を用いた構造においては、p-InGaAlPクラッド層64での電流広がりにはp-クラッド層64の抵抗率が高いため小さい。p-クラッド層64の膜厚を厚くすることにより、電流広がりを大きくすることが考えられるが、このInGaAlP材料系は熱伝導率が悪く膜厚を厚くすることによって結晶構造が低下し、また上層への悪影響も現われるため好ましくない。さらに、InGaAlP系材料は、結晶品質の上から成長速度が制限され、厚膜の成長を行う場合には、成長時間の延長を行わなければならない。このことは、p-クラッド層64の不純物として拡散性の高いものを使

用した場合に、活性層63への不純物拡散が起こり、素子特性の低下を引き起こす。このため、 $p\text{-InGaAlP}$ クラッド層64を厚く成長することは難しい。

【0101】また、この $\text{InGaAlP}$ 系材料においては、 $\text{Zn}$ をドーピングした場合、その活性化率が低い、高いキャリア濃度を得ることは難しい。これに加えて、 $\text{Zn}$ は拡散性の高い不純物であり、高濃度ドーピングによって活性層63への拡散が起こり、素子特性の低下も引き起こす原因ともなる。クラッド層62、64は活性層63とのバンドギャップ差を大きくして、活性層63への光及びキャリアの閉じ込めを行うことが望ましいが、そのためにはクラッド層63、64の $\text{Al}$ 組成を大きくしなければならない。しかし、 $p\text{-クラッド層64}$ の不純物として $\text{Zn}$ を用いた場合、 $\text{Al}$ 組成が大きくなるほどキャリア濃度が低下し、抵抗が大きくなる問題がある。故に、従来構造では $\text{GaAs}$ 基板61上の素子構造によっては注入電流を広げることができず、電極直下のみの発光となり、光の取り出し効率は非常に小さかった。

【0102】これに対し、図24及び図25に示すように、 $\text{GaAs}$ 基板61の成長主面を(100)面から[011]方向へ5〜15度傾斜させた面とした場合には、 $p\text{-クラッド層64}$ の $\text{Al}$ 組成が高い場合においても、 $\text{Zn}$ を高濃度にドーピングすることができ、低抵抗の $p\text{-InGaAlP}$ クラッド層64を形成することができる。

【0103】図26に、 $\text{Al}$ 組成0.7の場合の $\text{InGaAlP}$ に対する $\text{Zn}$ による飽和ホール濃度と、 $\text{GaAs}$ 基板の(100)面から[011]方向への傾斜角との関係を示す。この図から傾斜角度が大きくなると飽和ホール濃度が増加し、特に5度以上の傾斜角では $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上と十分な飽和ホール濃度を得られ、傾斜させない基板を用いたものと比べ3倍以上の十分な発光強度を得られることが判った。

【0104】このため、本実施形態の素子構造にすることによって、電極67から注入された電流を低抵抗の $p\text{-InGaAlP}$ クラッド層64において広域に広げることができ、図25の電流分布で示すように電極67直下以外の広域で発光が可能となる。本実施形態に用いた(100)面から[011]方向へ15度傾斜させた $\text{GaAs}$ 成長主面上に作成した素子の $p\text{-InGaAlP}$ クラッド層64と、従来の(100)面の $\text{GaAs}$ 成長主面上に作成した素子の $p\text{-InGaAlP}$ クラッド層の同じ $\text{Al}$ 組成における上記キャリア濃度のときの抵抗率は、それぞれ15度傾斜面上では $0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ 、(100)面上では $2 \Omega \cdot \text{cm}$ となっている。

【0105】また、本実施形態と従来例で作成した素子の活性層64をフォトルミネッセンス(P.L)等により評価したところ、本実施形態で作成した方が発光効率が高いことが判った。図27に、活性層の $\text{Al}$ 組成0.3の場合のPL発光強度と傾斜角度との関係を示す。こ

のように傾斜角度が大きくなるに伴い、PL発光強度が増加し、5度以上では3倍以上と十分な発光強度が得られた。また、図28に $\text{Al}$ 組成とPL発光強度依存性の傾斜角度が0度、即ち(100)面と、15度の場合を示す。このように傾斜した基板による発光強度増大効果は広い $\text{Al}$ 組成において認められた。

【0106】このことから、本実施形態では輝度を高くすることが可能である。加えて(100)面から[011]方向へ傾斜した $\text{GaAs}$ 基板上に成長した $\text{InGaAlP}$ 混晶は、自然超格子の発生が抑えられ、そのバンドギャップは(100)面上に成長したものよりも大きくなることが知られている。このバンドギャップ増大効果により、ある発光波長を得るのにより少ない $\text{Al}$ 組成の活性層を用いることが可能となり、短波長領域においての高輝度化を可能にすることができる。

【0107】上述した積層構造で $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.5}$  P活性層63の $\text{Al}$ 組成 $X$ に0.3を用いて素子を構成し、順方向に電圧を印加し電流を流したところ、図25に示した電流分布となり、 $p$ 側電極67を除いた素子表面広域から600nmにピーク波長を有する発光が得られた。なお、 $\text{InGaAlP}$ で構成された発光部に $\text{Zn}$ ドーピングの $p\text{-クラッド層}$ 内でキャリア濃度の成長方向への分布を持たせることによって、同様の効果を得ることができる。

【0108】このように本実施形態によれば、 $\text{GaAs}$ 基板61に成長主面に(100)面から[011]方向へ15度傾斜した面を用いることによって、発光部 $\text{InGaAlP}$ 活性層63上の $p\text{-InGaAlP}$ クラッド層64の抵抗率を低下することができ、電極67から注入された電流を $p\text{-クラッド層64}$ で広範囲に広げることができ、電極直下以外の領域に発光領域を広げることができる。従って、電極周辺からの光の取り出し効率の向上をはかることができ、これにより高輝度化をはかることが可能となる。

【0109】(第4の実施形態)図29は、本発明の第4の実施形態に係わる半導体発光ダイオードの素子構造を示す断面図である。なお、図24と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0110】この実施形態が先に説明した第3の実施形態と異なる点は、 $p\text{-InGaAlP}$ クラッド層を、 $\text{Al}$ 組成の異なる2層にしたことである。即ち、活性層63と隣接した第1の $p\text{-クラッド層64}$ として、光及びキャリアの閉じ込めに必要な $\text{Al}$ 組成の高い $p\text{-In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.3}\text{Al}_{0.7})_{0.5}$  P層を形成し、この第1の $p\text{-クラッド層64}$ 上に、電流をより拡散させるための第2の $p\text{-In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.6}\text{Al}_{0.4})_{0.5}$  Pクラッド層73を形成し、この第2の $p\text{-クラッド層73}$ 上に中間バンドギャップ層65及びコンタクト層66が形成されている。

【0111】第1の $p\text{-クラッド層64}$ 及び第2の $p\text{-$

クラッド層73の膜厚及びキャリア濃度はそれぞれ、第1のp-クラッド層64が $1\mu\text{m}$ 、 $2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ で、第2のp-クラッド層73が $3\mu\text{m}$ 、 $6\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ である。他の層構造については、先の第3の実施形態と同様とした。

【0112】本実施形態が従来の構造と異なる点は、第1のp-クラッド層64上にそれよりもAl組成の低い第2のp-クラッド層73を形成したことである。上記したようにZnドープによるp-InGaAlPは、そのキャリア濃度がAl組成に大きく依存しており、Znの供給量を一定とした場合、Al組成の大きいものほどキャリア濃度が低く、抵抗率が大きくなる。このため、本実施形態のような構成であれば、第1のp-クラッド層64 (Al組成0.7) よりも第2のp-クラッド層73 (Al組成0.4) の方が抵抗率を小さくすることができる。

【0113】加えて、GaAs基板61の成長主面を(100)面から[011]方向に15度傾斜した面を用いると、よりキャリア濃度を高くでき、抵抗率を小さくすることができるため、第1のp-クラッド層64と第2のp-クラッド層73の抵抗率の差をより大きくすることができる。このようにp-クラッド層64、73内で抵抗率の分布を大きくすることができるため、電極67から注入された電流を抵抗率の低いp-クラッド層73で広域に広げることができ、電極直下以外の広域で発光が可能となる。

【0114】本実施形態で用いた第1のp-クラッド層64と第2のp-クラッド層73で、上記キャリア濃度における抵抗率はそれぞれ $2\Omega\cdot\text{cm}$ と $0.2\Omega\cdot\text{cm}$ となっている。このように抵抗率の差が大きいため、電極から注入された電流は第1のp-クラッド層64に達する前に第2のp-クラッド層73で広域に広げられる。従って、第3の実施形態と同様な電流分布となり、p側電極を除いた素子表面広域から発光を得ることが可能である。また、本実施形態の積層構造で作成した素子からは第3の実施形態と同様に600nmにピーク波長を持つ発光が得られた。

【0115】なお、第4の実施形態では、第2のp-クラッド層73の組成は $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.6}\text{Al}_{0.4})_{0.5}\text{P}$ としたが、第1のp-クラッド層64よりAl組成が低く低抵抗化が可能で、且つ活性層63のバンドギャップエネルギーよりも大きいバンドギャップエネルギーを有する組成であれば、この組成に限るものではない。同じ組成で第2のp-クラッド層73だけキャリア濃度を高める方法でもよい。また、第2のp-クラッド層73は1層に限るものではなく、第1のp-クラッド層64よりAl組成が小さく、且つ活性層63のバンドギャップより大きいInGaAlP層であれば、組成の異なる2層以上積層した構造においても同様の効果が得られる。さらに、第1のp-クラッド層64から徐々に

Al組成を低減させていった組成傾斜層を形成してもよい。

【0116】また、第3、4の実施形態においてはGaAs基板の成長主面を(100)面から[011]方向に15度傾斜させた面を用いたが、この傾斜角度に限定されるものではなく、上述したように5度以上の傾斜角であれば、同様の効果が得られることはいうまでもない。さらに、活性層を含む発光部の層構造は、ダブルヘテロ構造に限るものではなく、シングルヘテロ構造やホモ接合であってもよい。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0117】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、半導体基板上にInGaAlPからなる活性層を有するダブルヘテロ構造が形成された半導体発光ダイオードにおいて、基板としてGaP基板を用い、基板側から光を取り出すようにしているので、活性層からの光を基板で吸収させることなく外部に有効に取り出すことができる。これにより高輝度の発光ダイオードが実現できる。また、InGaAlPからなる活性層を低濃度のp型とし、かつその厚さを $0.25\mu\text{m}$ から $0.75\mu\text{m}$ とすることによって、短波長でも高効率の発光が可能な半導体発光ダイオードを実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係わる半導体発光ダイオードの素子構造を示す断面図。

【図2】キャリア濃度と発光効率との関係を示す特性図。

【図3】活性層厚さと発光効率との関係を示す特性図。

【図4】波長と発光効率との関係を示す特性図。

【図5】本発明の第2の実施形態を説明するためのもので、素子構造を示す断面図。

【図6】基板の傾斜角度とAl組成及び半値幅との関係を示す特性図。

【図7】基板の傾斜角度とAl組成及び半値幅との関係を示す特性図。

【図8】透明バッファ層の作用を説明するための断面図。

【図9】透明バッファ層の膜厚と発光効率との関係を示す特性図。

【図10】透明バッファ層の作用を説明するための断面図。

【図11】nクラッド層のキャリア濃度と発光効率との関係を示す特性図。

【図12】井戸層の厚さと波長との関係を示す特性図。

【図13】井戸層の格子不整合と発光効率との関係を示す特性図。

【図14】クラッド層のAl組成とエネルギーギャップとの関係を示す特性図。

【図15】クラッド層キャリア濃度と発光効率との関係

を示す特性図。

【図16】電流拡散層の膜厚と発光効率との関係を示す特性図。

【図17】電流拡散層のキャリア濃度と発光効率との関係を示す特性図。

【図18】発光波長に対する電流拡散層の吸収係数の関係を示す特性図。

【図19】上部電極形成工程を示す断面図。

【図20】電流阻止層の形成位置を示す断面図。

【図21】本発明の変形例を説明するためのもので、電流拡散層の膜厚と発光効率との関係を示す特性図。

【図22】本発明の変形例で、基板を除去した例を示す素子構造断面図。

【図23】本発明の変形例で、透明基板を用いた例を示す素子構造断面図。

【図24】本発明の第3の実施形態に係わる半導体発光ダイオードの素子構造を示す断面図。

【図25】第3の実施形態における素子内での電流分布及び発光領域を示す模式図。

【図26】傾斜角度とZnの飽和ホール濃度との関係を示す特性図。

【図27】傾斜角度とPL発光強度との関係を示す特性図。

【図28】Al組成とPL発光強度との関係を示す特性図。

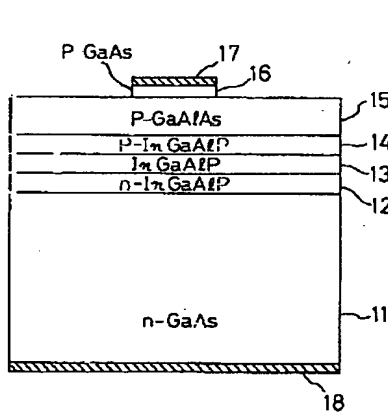
【図29】本発明の第4の実施形態に係わる半導体発光ダイオードの素子構造を示す断面図。

【図30】従来の半導体発光ダイオードの素子構造を示す断面図。

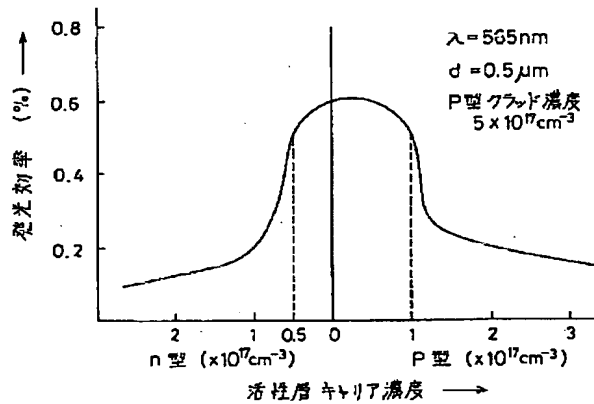
【符号の説明】

- 11, 31...n-GaAs基板
- 12, 35...n-InGaAlPクラッド層
- 13, 36...p-InGaAlP活性層
- 14, 37...p-InGaAlPクラッド層
- 15, 38...p-GaAlAs電流拡散層
- 16, 39...p-GaAsコンタクト層
- 17, 41...p側電極
- 18, 42...n側電極
- 32...n-GaAsバッファ層
- 33...反射層
- 34...n-GaAlAs透明バッファ層
- 40...n-GaAs電流阻止層

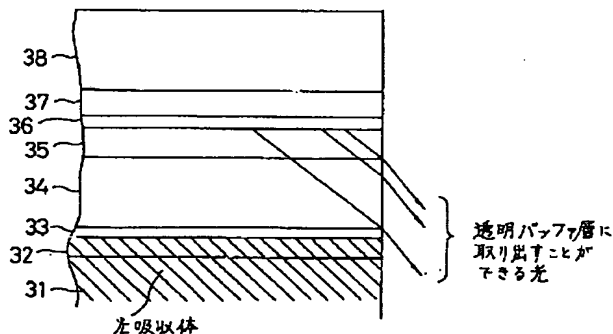
【図1】



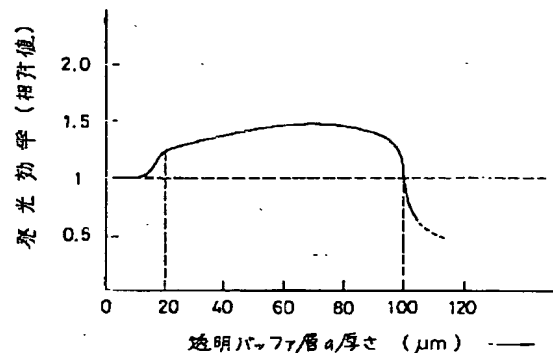
【図2】



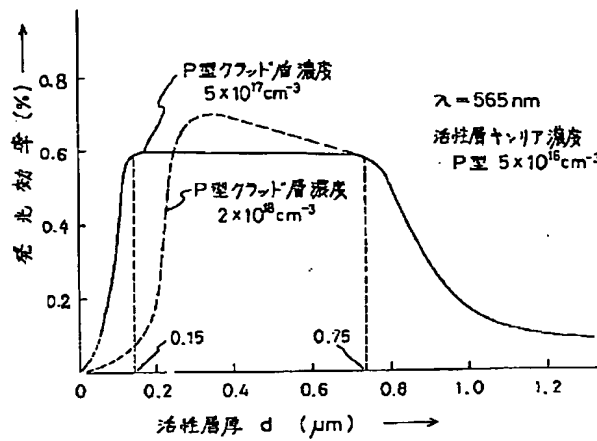
【図8】



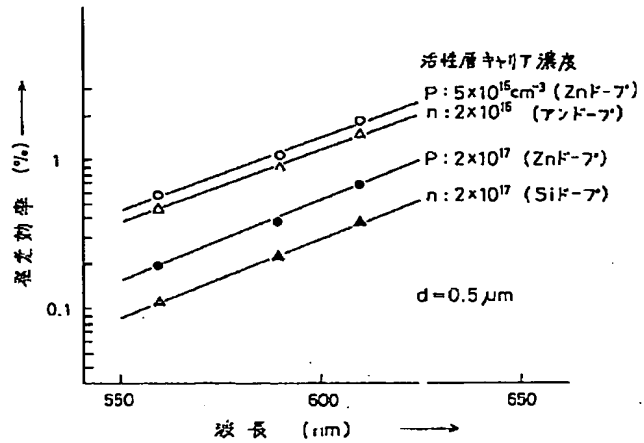
【図9】



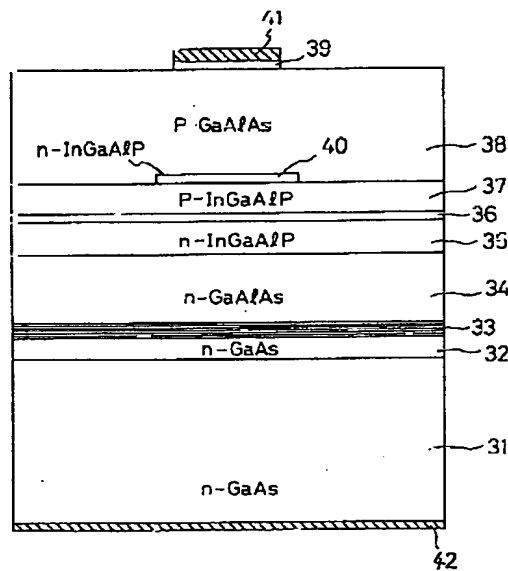
【図3】



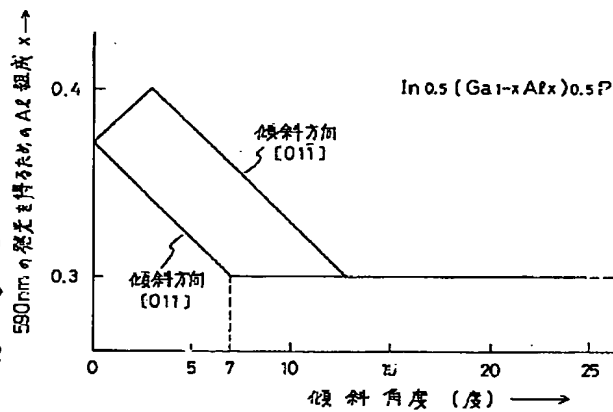
【図4】



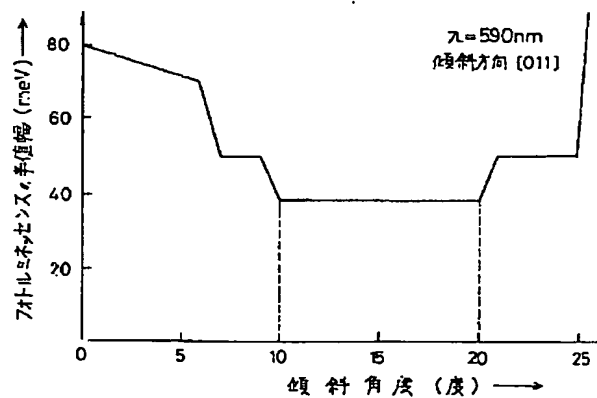
【図5】



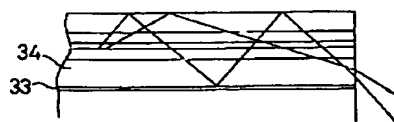
【図6】



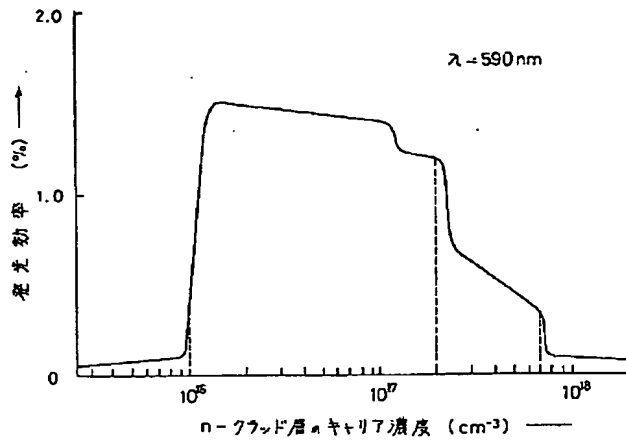
【図7】



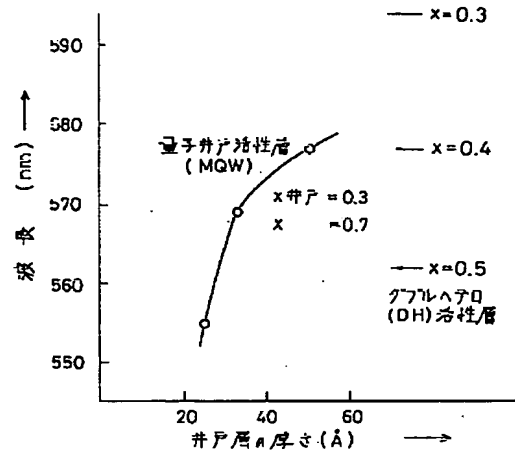
【図10】



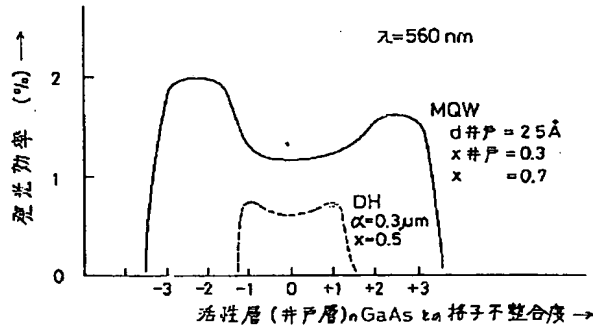
【図11】



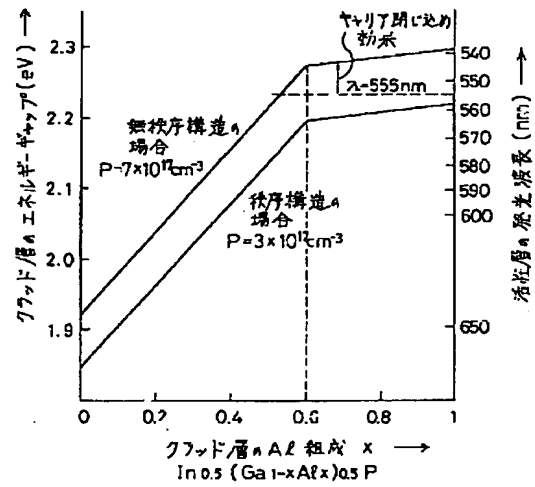
【図12】



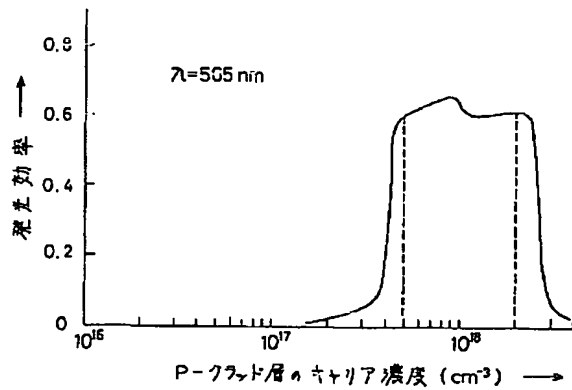
【図13】



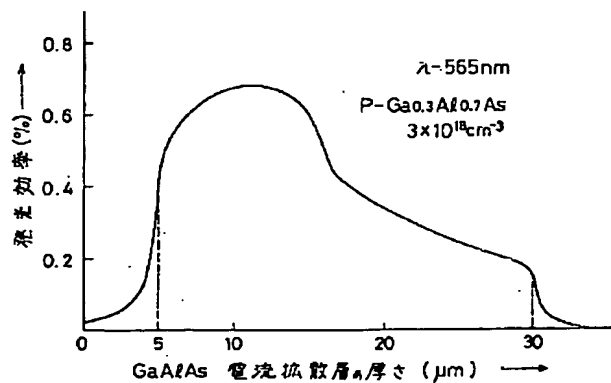
【図14】



【図15】

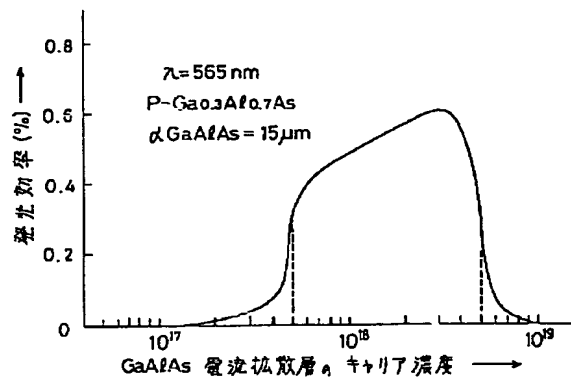


【図16】

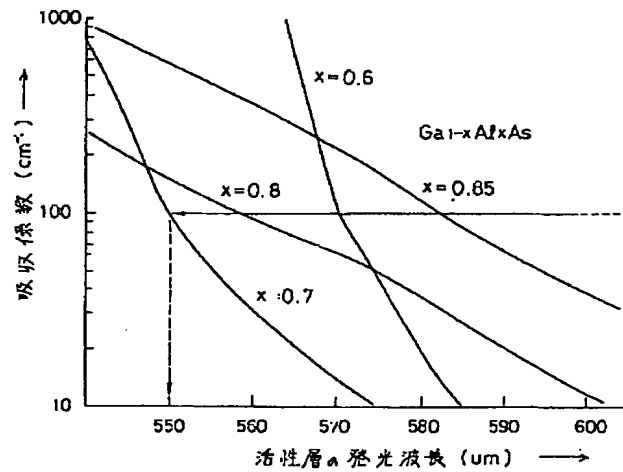




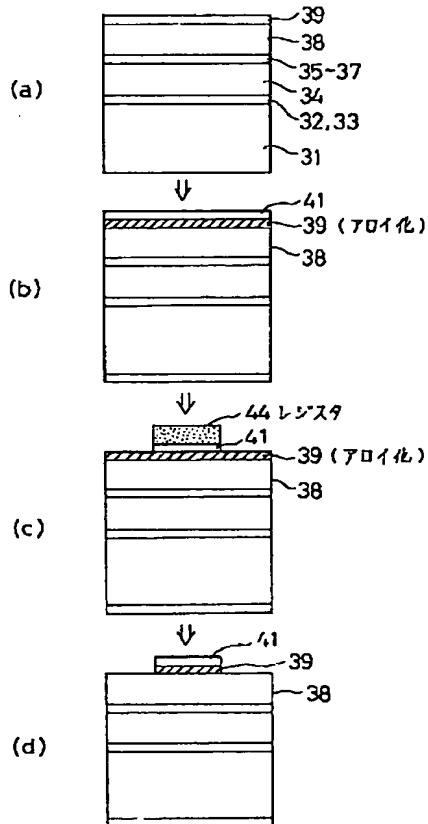
【図17】



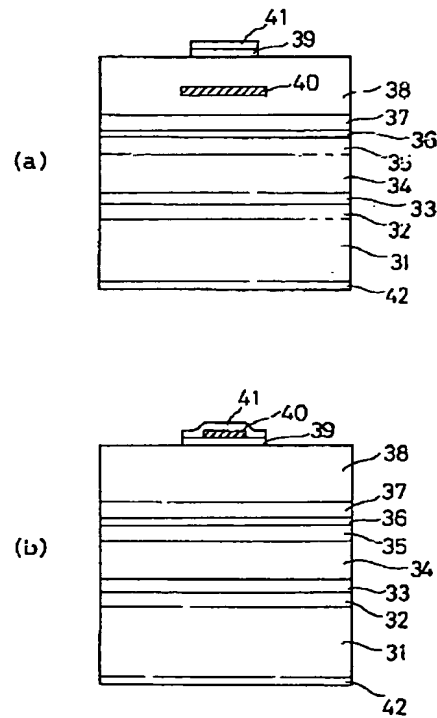
【図18】



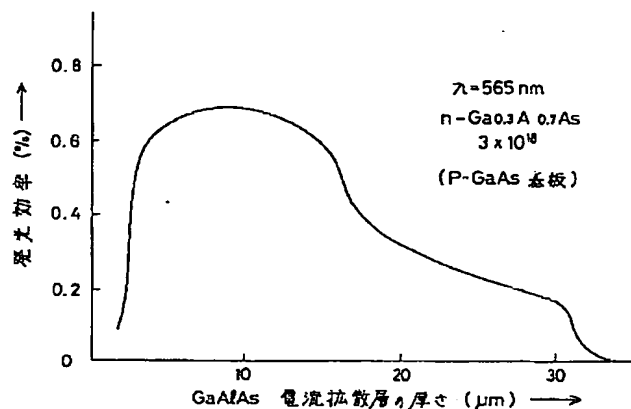
【図19】



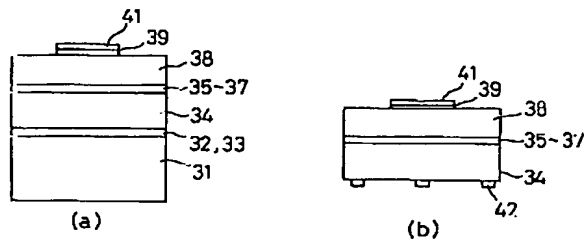
【図20】



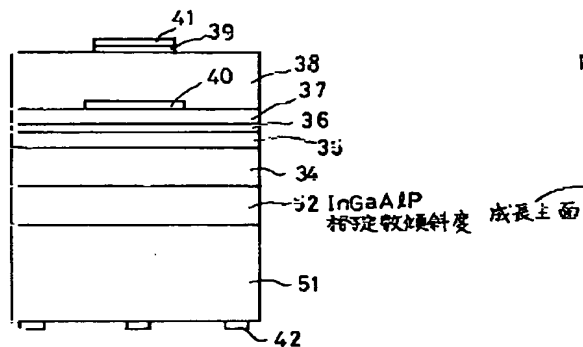
【図21】



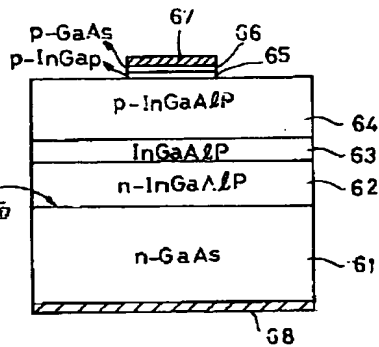
【図22】



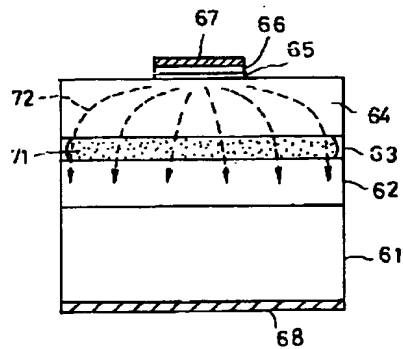
【図23】



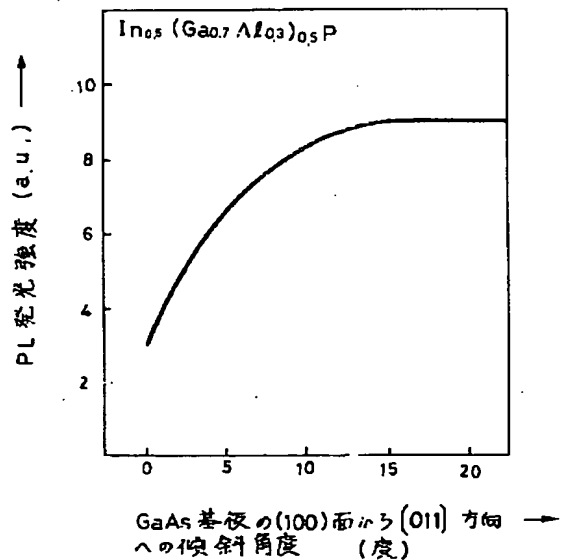
【図24】



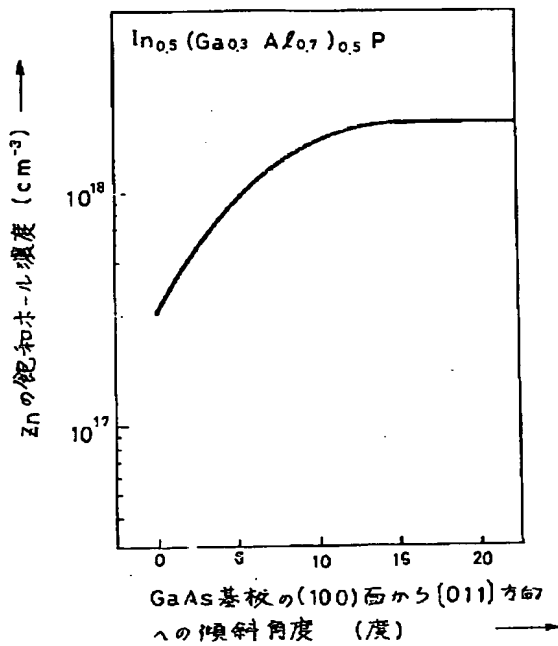
【図25】



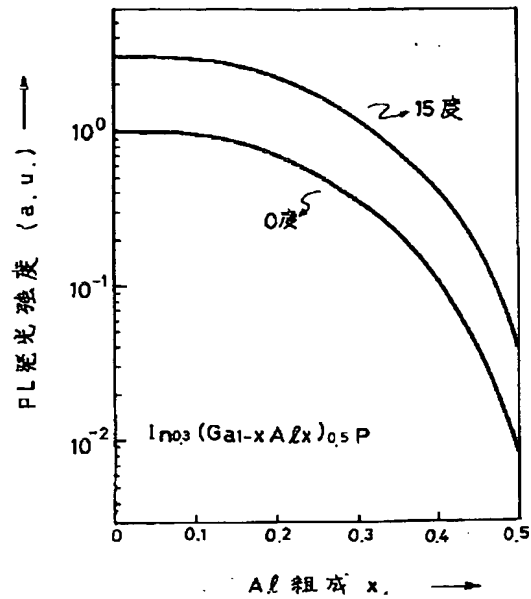
【図27】



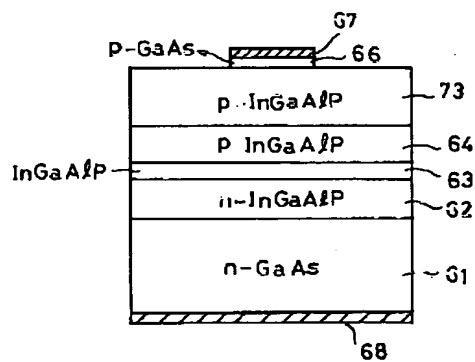
【図26】



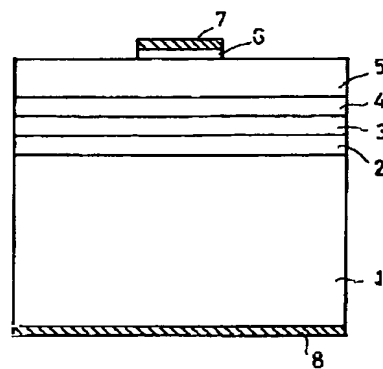
【図28】



【図29】



【図30】



フロントページの続き

(72)発明者 波多腰 玄一  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝総合研究所内

(72)発明者 西川 幸江  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝総合研究所内

(72)発明者 鈴木 真理子  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝総合研究所内

(72)発明者 板谷 和彦  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝総合研究所内